云 南 植 物 研 究 1996; 增刊Ⅷ: 23—34
Acta Botanica Yunnanica

滇蜀豹子花居群染色体数目变异的研究*

虞 泓[1] 黄瑞复[1] 郑树松[2]

([1]云南大学生物系，昆明 650091) ([1]云南大学进化生态学研究实验室，昆明 650091)

([2]云南省农业科学院，昆明 650205)

摘要 本文对云南中甸地区海拔 3400-3800 m 的滇蜀豹子花 *Nomocharis forrestii* Balf. f. 进行了细胞学研究，统计分析了 8 个局部居群的体细胞染色体数目变异，结果如下：

1. *N. forrestii* 体细胞染色体数目变异有 (x=12)、(3x=36)、(2x-1=23) 和 (2x+1=25) 等类型，其发生频率平均为 11.6%。

2. *N. forrestii* 体细胞染色体数目变异常伴随着结构变异；同样，体细胞染色体结构变异又常伴随着数目变异。

3. *N. forrestii* 不同局部居群在染色体水平上的分化有所不同。总体上，随海拔递增，居群中染色体桥、染色体落后、染色体断裂和微核等发生频率有递增趋势，染色体数目变异和结构变异有递增趋势。但具体的局部居群中染色体变异所侧重的方式及其频率还与遗传背景和变异的随机性密切相关。

4. *N. forrestii* 有丝分裂过程中观察到的染色体桥、染色体落后、染色体断裂、双核和微核等，均是有丝分裂异常的证据或有丝分裂异常的产物。有丝分裂异常会导致体细胞染色体分配不均而产生数量变异，还会导致细胞染色体重排而产生结构变异。

5. 中甸地区地处青藏高原东南缘，气温异常多变。*N. forrestii* 正在进行有丝分裂或减数分裂的细胞突然遭到忽冷忽热的气温干扰，很容易产生有丝分裂或减数分裂异常的行为。随着海拔增高，*N. forrestii* 居群有丝分裂或减数分裂的分裂负荷加重。

关键词 滇蜀豹子花，中甸地区，局部居群，染色体数目变异，分化

A STUDY ON NUMBER VARIATION OF CHROMOSOME IN NOMOCHARIS FORRESTII POPULATION

YU Hong[1], HUANG Rui-Fu[1], ZHENG Shu-Song[2]

([1]*Biology Department, Yunnan University*, Kunming 650091)

([1]*Laboratory of Evolutionary Ecology, Yunnan University*, Kunming 650091)

([2]*Yunnan Provincial Academy of Agricultural Science*, Kunming 650205)

Abstract In the present paper, the cytological investigation was made on *Nomocharis forrestii* Balf.f. population from Zhongdian, Yunnan. The number variation of chromosome in eight local

* 国家自然科学基金(39170063)和中国科学院植物研究所系统与进化开放研究实验室资助

1993-11-20 收稿, 1994-01-15 修回

populations was statistically analysed. The conclusions are as follows:

1. The number variation of chromosome in *N. forrestii* was found as (3x=36),(x=12), (2x−1=23), and (2x+1=25) types, etc. Their occurring frequency is about 11.6%. The eight local populations were investigated. They are Yicunhoushan populations P1 (3400 m), P2 (3500 m), P3 (3600 m), P4 (3700 m) and P5(3800 m), Napahai population P6 (3400 m), Bitahai population P7 (3500 m), and Bisanggu population P8 (3500 m). The occurring frequencies of the chromosmal number variation in somatic cells are respectively 10.4%, 11.2%, 10.1%, 10.8%, 11.5%,12.6%, 7.6% and 18.4%. According to the mean frequency of the same altitude populations, the frequencies of populations in somatic cells are respectively 11.5%, 12.4%, 10.1%, 10.8% and 11.5% at an altitude of 3400 m, 3500 m, 3600 m; 3700 m and 3800 m. As the altitude increases, the frequency of chromosomal number variation in somatic cells shows a tendency to increase in population.

2. The triploid seed was discovered in seed population of *N. forrestii,* whose frequency is about 3.1%.

3. The variation of (3x=36) was found in somatic cells of *N. forrestii,* whose frequencies are respectively 1.0%, 0.3%, 4.4%, 0.0%, 0.9%, 0.5% and 0.0% in P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 and P8 local population.

4. The variation of (x=12) occurs in somatic cells of *N. forrestii,* whose frequencies are respectively 0.0%, 0.0%, 0.0%, 0.7%, 0.8%, 0.9%, 0.5% and 0.0% in P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 and P8 local population.

5. The variation of (2x−1=23) exists in somatic cells of *N. forrestii,* whose frequencies are respettively 7.9%, 8.6%, 3.0%, 5.8%, 5.2%, 8.9%, 6.5% and 14.9% in P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 and P8 local population.

6. The variation of (2x+1=25) exists in somatic cells of *N. forrestii,* whose frequencies are respectively 1.5%, 2.3%, 2.7%, 4.0%, 5.5%, 1.8%, 0.0% and 3.5% in P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 and P8 local population.

7. The chromosomal number variation takes place spontaneously with structural aberration in *N. forrestii.* In the same way, the chromosomal structure aberration takes place spontaneously with number variation in *N. forrestii.*

8. The differentiation at chromosomal level is different among local populations in *N. forrestii.* In general, as the altitude increases, the occurring frequencies of chromosomal bridge, taggard, breakage and micronucleus have a tendency to increase in population, and the variation of the chromosomal number and structure aberration appear a tendency to increase, too, in population. However, the effective way of chromosomal variation and its occurring frequency have relations with hereditary background and the random nature of chromosomal variation in local population.

9. The chromosomal breadge, taggard, breakage, binucleus and micronucleus which were observed in the mitosis are products and proofs in abnormal mitosis of *N. forrestii.* The abnormal mitosis gives rise to the unequal segregation of chromosomes and chromosomal rearangement, so

that causes the variation of the chromosomal number and structural aberration.

10. Zhongdian region is located in the southeastern part of Qinghai-Xizang plateau,whose air temperatare varies terribly. The mitosis and meiosis are so often subjected to the interference of air temperature variety in *N. forrestii* development that the abnormal behaviou of mitosis and meiosis is generated easily. As the altitude increases, the loads of mitosis and meiosis become more in population of *N. forrestii*.

Key words *Nomocharis forrestii,* Zhongdian region, Local population, Chromosomal number variation, Differentiation

滇蜀豹子花 *Nomocharis forrestii* Balf.f. 是细丝组 Sect Ecristata 中的一个种[1,2]。分布于中甸、大理苍山、丽江玉龙雪山、凉山等地。吴征镒和李恒等[3]认为高黎贡山是豹子花属的起源地，又是现代的多样性中心。*N. forrestii* 的分布则在此中心之外。虞泓和黄瑞复[4]报道了 *N. forrestii* 的核型，发现其核型有多态性，其染色体系统尚未趋于稳定，染色体结构变异剧烈，而且染色体结构变异还导致染色体非倍性变异。本文以云南中甸地区海拔梯度范围为 3400—3800 m 的 8 个局部居群 (local population) 的种子为材料，对 *N. forrestii* 体细胞染色体倍性和非倍性变异进行了观察、统计和研究。

表 1 滇蜀豹子花材料来源

Table 1 The origin of plant material in *N. forrestii* Balf.f.

局部居群 local population	地　名 localities	海　拔 altitudes (m)	生　境 habitats	凭证标本 vouchers
P1	中甸一村后山	3400	高山松杜鹃灌丛中	YH 9306140313E
P2	中甸一村后山	3500	散生落叶松高山松林下	YH 9306140313D
P3	中甸一村后山	3600	高山松落叶松林下	YH 9306140313C
P4	中甸一村后山	3700	云杉林缘	YH 9306140313B
P5	中甸一村后山	3800	高山小叶杜鹃灌丛中	YH 9306140313A
P6	中甸纳帕海	3400	高山松林缘、溪边	YH 2-92813 YH 8906020 YH930601404
P7	中甸碧塔海	3500	云杉林缘、柳树丛中、溪边	YH 9308012 YH 900831 YH 8906021 YH 896-6026
P8	中甸毕桑谷	3500	灌丛草甸中	YH 887-6025

材料与方法

本文标本鉴定采用中国植物志 14 卷百合科分类系统[5]。研究材料见表 1。标本存放云南大学生物系标本室。

本文研究方法参见文献[4]。研究是按海拔分居群以细胞为单位进行统计。染色体排序从大到小顺序排列，并参照虞泓和黄瑞复报道的参考核型。

观察结果

有丝分裂异常

N. forrestii 有丝分裂过程中发现许多异常现象，其中有染色体桥、染色体落后、染色体断裂、双核（图 1：A）和微核等。

染色体桥 图 1：B, C, D 表 2

经观察和统计，纳帕海居群 P6 (3400 m), 一村后山居群 P1 (3400 m) 和碧塔海居群 P7 (3500 m) 染色体桥的出现频率分别是 2.0%, 6.4% 和 5.6%。

染色体落后 图 E：1 和 F 表 2

经观察和统计，纳帕海居群 P6 (3400 m), 一村后山居群 P1 (3400 m) 和碧塔海居群 P7 (3500 m) 中有丝分裂中期或后期发生染色体落后的频率分别是 6.0%, 11.1% 和 14.1%。

表 2 滇蜀豹子花 3 个局部居群有丝分裂异常统计

Table 2 Statistics of abnormal mitosis in 3 local populations in *N. forrestii* Balf.f.

局部居群 local population			P6	P1	P7
海 拔 alt. (m)			3400	3400	3500
种子数	seed number		10	13	17
细胞数	cell number		50	63	71
染色体桥	频数	number	1	4	4
Chromosomal bridge	频率(%)	frequency	2.0	6.4	5.6
染色体落后	频数	number	2	3	6
Chromosomal taggard	频率(%)	frequency	4.0	4.8	8.5
总 计	频数	number	3	7	10
sum	频率(%)	frequency	6.0	11.1	14.1

表 3 滇蜀豹子花 8 个局部居群中染色体断裂和微核的统计

Table 3 Statistics of chromosomal breakage and micronuclei in 8 local populations in *N. forrestii* Balf.f.

局部居群 local population			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
海 拔 alt. (m)			3400	3500	3600	3700	3800	3400	3500	3500
种子数 seed number			31	37	29	35	113	33	30	15
细胞数 cell number			203	301	297	278	367	112	185	87
断裂	频数	number	32	69	74	98	219	22	25	36
breakage	频率(%)	frequency	15.8	22.9	24.9	35.3	59.7	19.6	13.5	41.4
细胞数 cell number			397	203	313	233	315	340	318	1132
微核	频数	number	12	7	6	6	7	14	12	146
micronucler	频率(%)	frequency	3.0	3.5	1.9	2.6	2.2	4.1	3.8	12.9

染色体断裂 图 2 和 3：B 表 3

N. forrestii 有丝分裂中期经常发现染色体在着丝粒附近或次缢痕附近或其它异染色质区容易发现断裂，而且发生频率较高。有的细胞有一条染色体发生断裂，有的细胞甚至有多条染色体发生断裂。有的染色体仅一处断裂，有的染色体则多处断裂。一村后山居群 P1 (3400 m), P2 (3500 m), P3 (3600 m), P4 (3700 m), P5 (3800 m), 纳帕海居群 P6 (3400 m),

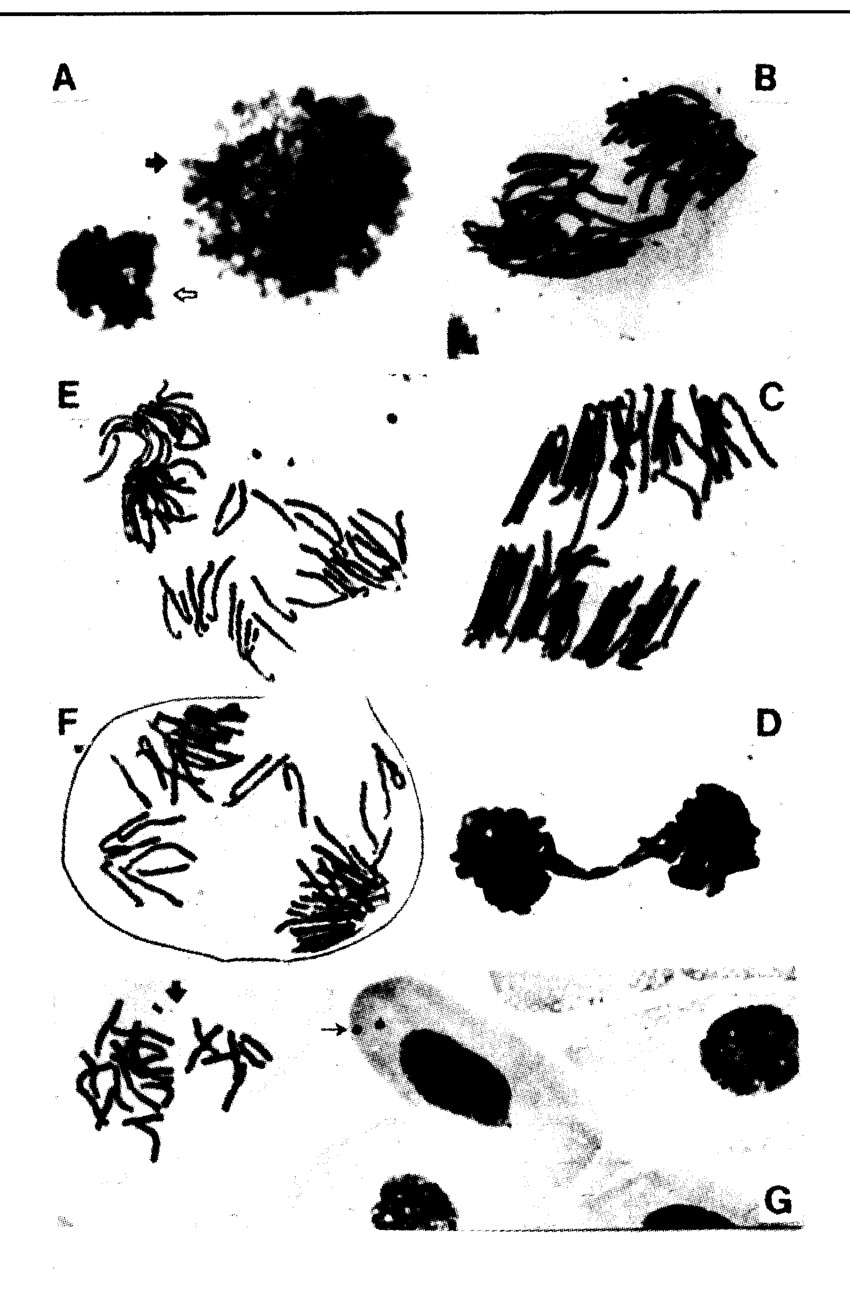


图 1 滇蜀豹子花有丝分裂图相

Fig. 1 Micrographs of the root-tip mitosis in *Nomocharis forrestii* Balf.f.

A. Showing binucleus and normal nucleus; B,C,D. Showing chromosomal bridges; E,F. Showing chromosomal taggard; G. Showing micronuclei and structural aberration of chromosome

碧塔海居群 P7 (3500 m) 和毕桑谷居群 P8 (3500 m) 有丝分裂中期细胞中发生染色体断裂的频率分别是 15.8%, 22.9%, 24.9%, 35.3%, 59.7%, 19.6%, 13.5%, 41.4%。平均加权，海拔 3400 m, 3500 m, 3600 m, 3700 m 和 3800 m 居群发生染色体断裂的频率分别 17.7%, 25.8%, 24.9%, 35.3% 和 59.7%。可见，高海拔居群中染色体发生断裂的频率明显高于低

海拔的居群。

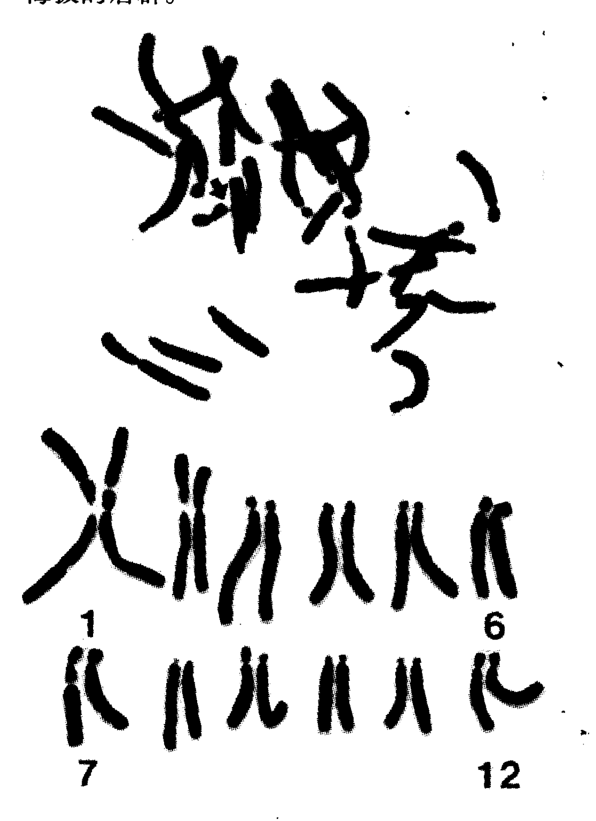


图 2 滇蜀豹子花二倍体核型

Fig. 2 The diploid karyotype in *Nomocharis forrestii* Balf.f., showing chromosomal breakage.

微核 图 1：G 表 3

N. forrestii 有丝分裂后期或末期的细胞中经常发现微核，通常有 1—2 个，少数细胞多达 5 个。*N. forrestii* 微核发生频率较高，但在局部居群中的分布频率未作过报道。一村后山居群 P1 (3400 m), P2 (3500 m), P3 (3600m), P4 (3700 m), P5 (3800 m), 纳帕海居群 P6 (3400 m), 碧塔海居群 P7 (3500 m) 和毕桑谷居群 P8 (3500 m) 中微核分布频率分别是 3.0%, 3.5%, 1.9%, 2.6%, 2.2%, 4.1%, 3.8% 和 12.9%。

2. 倍性变异

x = 12 图 3:B 表 4

在 *N. forrestii* 居群细胞中极其偶然地会发现单倍体 (x = 12) 细胞。一村后山居群 P1 (3400 m), P2 (3500 m), P3 (3600 m), P4 (3700 m), P5 (3800 m)、纳帕海居群 P6 (3500 m), 碧塔海居群 P7 (3500 m) 和毕桑谷居群 P8 (3500 m) 中单倍体细胞的分布频率分别是 0.0%, 0.0%, 0.0%, 0.7%, 0.8%, 0.9%, 0.5% 和 0.0%。

表 4 滇蜀豹子花 8 个局部居群的染色体数目变异分布频率

Table 4 Distribution of the frequency of chromosome number variation in 8 local populations in *N. forrestii* Balf.f.

局部居群 local population		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
海 拔 alt. (m)		3400	3500	3600	3700	3800	3400	3500	3500
种子数 seed number		31	37	29	35	113	33	30	15
细胞数 cell number		203	301	297	278	367	112	185	87
x = 12	频数 number	0	0	0	2	3	1	1	0
	频率(%) frequency	0.0	0.0	0.0	0.7	0.8	0.9	0.5	0.0
3x = 36	频数 number	2	1	13	1	0	1	1	0
	频率(%) frequency	1.0	0.3	4.4	0.4	0.0	0.9	0.5	0.0
2x−1 = 23	频数 number	16	26	9	16	19	10	12	13
	频率(%) frequency	7.9	8.6	3.0	5.8	5.2	8.9	6.5	14.9
2x+1 = 25	频数 number	3	7	8	11	20	2	0	3
	频率(%) frequency	1.5	2.3	2.7	4.0	5.5	1.8	0.0	3.5
总 计	频数 number	21	34	30	30	44	14	14	16
sum	频率(%) frequency	10.4	11.2	10.1	10.8	11.5	12.6	7.6	18.4

3x＝36　图 3:A　表 4

在 *N. forrestii* 居群中偶然还会发现三倍体种子或三倍体细胞 (3x＝36)。三倍体种子全为三倍体细胞，即三倍体个体。仅在一村后山居群 P4 (3700 m) 和碧塔海居群 P7 (3500 m) 中各发现 1 粒种子。三倍体种子发生频率较低，这两个居群分别为 2.9% 和 3.3%。

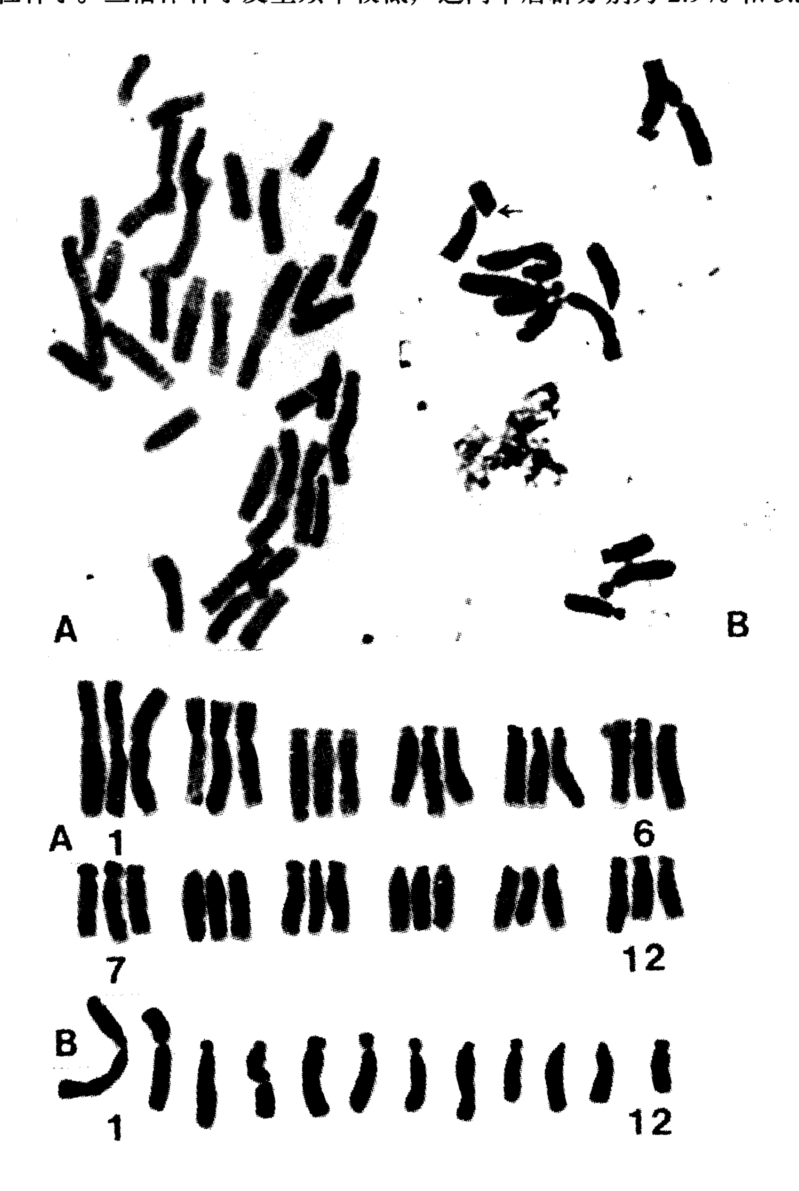


图 3 滇蜀豹子花三倍体和单倍体核型

Fig. 3 The triploidy and haploidy karyotypes in *Nomocharis forrestii* Balf.f

A. 3x＝36; B. x＝12, showing chromosomal breakage.

N. forrestii 同一种子根尖细胞中同时有二倍体和三倍体细胞存在，但二倍体细胞占绝大多数。统计发现有 7 粒种子萌发的根尖细胞中同时存在二倍体和三倍体细胞，在这 7 粒种子萌发的根尖细胞中三倍体细胞发生的频率约 7.7%。一村后山居群 P1 (3400 m), P2

(3500 m), P3 (3600 m), P4 (3700 m), P5 (3800 m), 纳帕海居群 P6 (3400 m), 碧塔海居群 P7 (3500 m) 和毕桑谷居群 P8 (3500 m) 中三倍体细胞出现的频率分别为 1.0%, 0.3%, 4.4%, 0.0%, 0.9%, 0.5% 和 0.0%。

3. 非倍性变异

2x−1 = 23　图 4:A 和 B　表 4

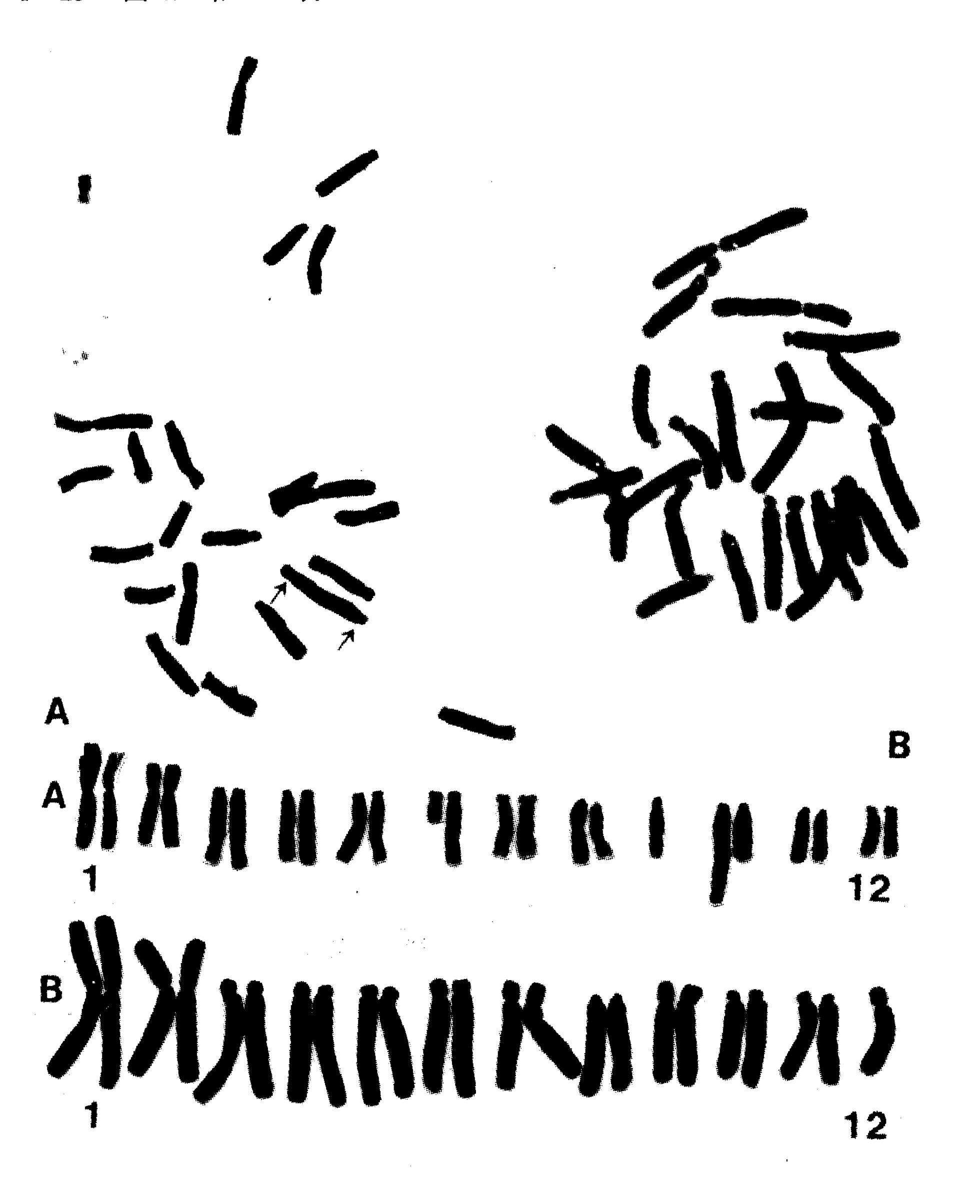


图 4 滇蜀豹子花非整倍体核型

Fig. 4 The aneuploidy karyotypes in *Nomocharis forrestii* Balf.f

A. 2x−1 = 23, and showing a dicentric chromosome; B. 2x−1 = 23

在 *N. forrestii* 各局部居群中均发现 (2x−1) 细胞。(2x−1) 细胞是由于第 9 与 10 对或第 8 与 12 对染色体融合形成双着丝粒染色体而导致[4]。研究发现，除形成双着丝粒染色体

外，*N. forrestii* 核型中第 5, 6, 8, 9, 11 和 12 对染色体易缺失形成 (2x−1)，发生频率分别是 11.4%, 11.4%, 14.8%, 11.4%, 9.1% 和 13.6%。通常，新融合成的双着丝粒染色体长度小于原两条染色体长度之和。说明两条染色体融合前丢失了某些片段，大多为异染色质。缺失一同源染色体形成 (2x−1) 细胞，往往有其它染色体易位加长。一村后山居群 P1 (3400 m), P2 (3500 m), P3 (3600 m), P4 (3700 m), P5 (3800 m), 纳帕海居群 P6 (3400 m), 碧塔海居群 P7 (3500 m), 和毕桑谷居群 P8 (3500 m) 中 (2x−1) 细胞的分布频率分别是 7.9%, 8.6%, 3.0%, 5.8%, 5.2%, 8.9%, 6.5% 和 14.9%。可以看出，一村后山五个局部居群随海拔递增，其 (2x−1) 细胞出现频率呈较明显的递减趋势。将相同海拔的局部居群的分布频率平均加权，海拔 3400 m, 3500 m, 3600 m, 3700 m 和 3800 m 居群中 (2x−1) 细胞的分布频率分别是 8.4%, 10.0%, 3.0%, 5.8% 和 5.2%，也呈较明显的递减趋势。毕桑谷居群 P8 (3500 m) 中 (2x−1) 细胞的发生频率最高 (14.9%)。这可能与形成双着丝粒染色体的细胞多密切相关。该居群中双着丝粒染色体发生频率高达 10%左右。

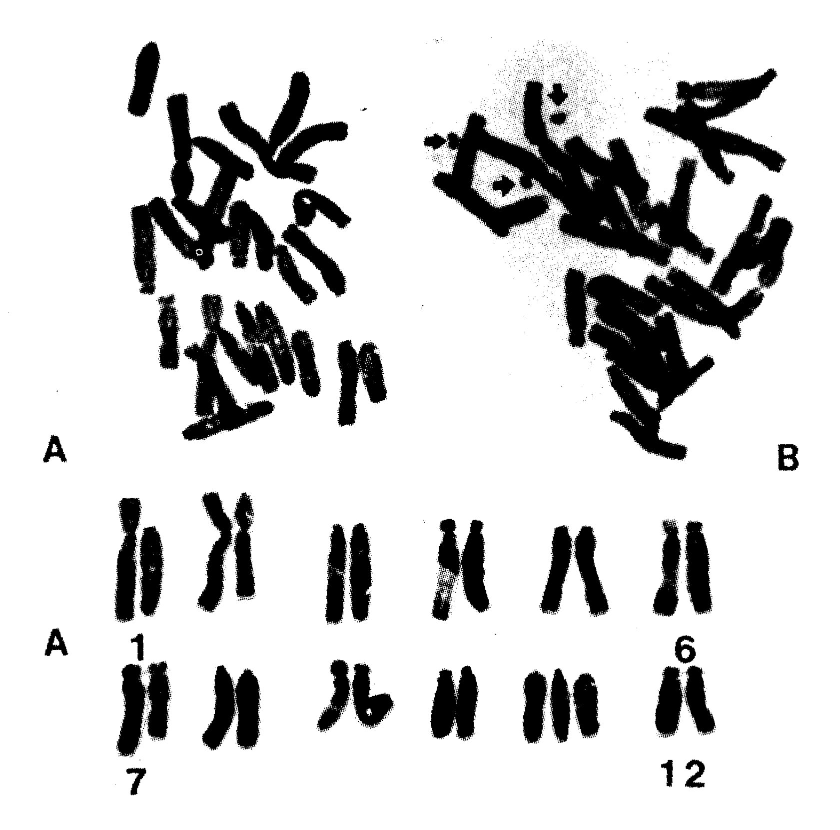


图 5 滇蜀豹子花非整倍体核型

Fig. 4 The aneuploidy karyotypes in *Nomocharis forrestii* Balf.f

A. 2 = +1 = 25; B. Showing B−chromosomes.

2x+1 = 25　图 5:A　表 4

N. forrestii 居群中体细胞染色体偶尔发生 (2x+1) 的变异。统计结果是，一村后山居群 P1 (3400 m), P2 (3500 m), P3 (3600 m), P4 (3700 m), P5 (3800m), 纳帕海居群 P6 (3400

m), 碧塔海居群 P7(3500 m) 和毕桑谷居群 P8 (3500 m) 中 (2x+1) 细胞的分布频率分别是 1.5%, 2.3%, 2.7%, 4.0%, 5.5%, 1.8%, 0.0% 和 3.5%。随海拔递增，一村后山五个局部居群中 (2x+1) 细胞发生频率有递增趋势, 将相同海拔的局部居群的频率平均加权。海拔 3400 m, 3500 m, 3600 m, 3700 m 和 3800 m 居群中 (2x+1) 细胞的分布频率分别是 1.7%, 2.9%, 2.7%, 4.0% 和 5.5%，也呈明显递增趋势。通常 (2x+1) 细胞由核型中第 1 或 2 对染色体(m 或 sm) 中 1 条于着丝粒横裂产生，或是有丝分裂染色体不等分裂而增加一条染色体，往往其它染色体会缺失或易位减少片段。*N. forrestii* 核型中第 1, 3, 5, 8 和 11 对染色体容易增加 1 条染色体而形成 (2x+1)，其发生频率分别是 14.3%, 14.3%, 14.3%, 14.3% 和 42.9%。

表 5 滇蜀豹子花 8 个局部居群中 B 染色体分布频率

Table 5 Distribution of B-chromosomal frequency in 8 local populations in *N. forrestii* Balf.f.

居部居群 local population		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
海 拔 alt. (m)		3400	3500	3600	3700	3800	3400	3500	3500
种子数 seed number		31	37	29	35	113	33	30	15
细胞数 cell number		203	301	297	378	367	112	185	87
B 染色体	频数 number	0	0	0	0	29	0	33	12
B-chromosome	频率(%) frequency	0.0	0.0	0.0	0.0	7.9	0.0	17.8	13.8

B 染色体 图 5：B 表 5

N. forrestii 体细胞中经常发现有 B 染色体出现，少者为 1—2 个，多者达 3—4 个[4]。对 8 个局部居群统计，发现并不是所有的局部居群都存在 B 染色体，有 B 染色体的局部居群其分布频率也不一样。8 个局部居群体细胞中 B 染色体的分布频率：一村后山居群 P1 (3400 m), P2 (3500 m), P3 (3600 m), P4 (3700 m), P5 (3800 m), 纳帕海 P6 (3400 m), 碧塔海居群 P7 (3500 m) 和毕桑谷居群 P8 (3500 m)分别是 0.0%, 0.0%, 0.0%, 0.0%, 7.9%, 0.0%, 17.8% 和 13.8%。

讨 论

1. *N. forrestii* 有丝分裂过程中观察到的染色体桥、染色体落后、染色体断裂、双核（图 1：A）和微核等，均是有丝分裂异常的证据或有丝分裂异常的产物。有丝分裂异常要么导致染色体分配不均，产生数量变异，要么导致染色体重排，产生结构变异。随海拔递增，*N. forrestii* 居群体细胞中染色体桥、染色体断裂和微核等发生频率有递增趋势，说明有丝分裂过程中分裂负荷加重；且还与居群的遗传背景有关。

2. *N. forrestii* 居群中体细胞发生染色体数目变异有 x, 3x, (2x−1) 和 (2x+1) 等类型，其发生频率平均为 11.6%。平均加权的结果，海拔 3400 m, 3500 m, 3600 m, 3700 m 和 3800 m 居群中体细胞发生染色体数目变异的频率分别是 11.5%, 12.4%, 10.1%, 10.8% 和 11.5%。很明显，随海拔递增，*N. forrestii* 居群中体细胞发生染色体数目变异的频率也呈递增趋势。

3. *N. forrestii* 居群中染色体倍性变异有 3x 和 x 两种类型。

3x 有二种情况。一种是减数分裂异常，偶然形成的二倍体配子与正常的单倍体配子受精，发育形成三倍体种子，即三倍体个体。

另一种有丝分裂异常，体细胞中有极少数三倍体细胞形成。通过无性繁殖可能会被固定下来。

单倍体细胞也是有丝分裂异常，体细胞中有极少数单倍体细胞形成。

N. forrestii 分布的中甸地区，属青藏高原东南缘，在其高原面上气温忽冷忽热异常多变，特别是在植物营养生长和生殖生长的季节，正在进行有丝分裂或减数分裂的细胞突然遭到忽冷忽热的气温干扰，很容易产生有丝分裂或减数分裂异常，从而导致三倍体或单倍体细胞形成。

N. forrestii 居群中三倍体细胞发生频率高于单倍体细胞，两者的比例大约是 2.6: 1。说明 *N. forrestii* 居群中三倍体细胞的适合度比单倍体的高，自然选择过程中单倍体细胞将被淘汰掉。

可以预测，在中甸地区存在三倍体的 *N. forrestii* 个体，可能分布在海拔 3500—3800 m 的生境中。可以认为，*N. forrestii* 三倍体化是其种内分化的一条切实可行途径。

4. *N. forrestii* 居群中体细胞发生非倍性变异有 (2x−1)、(2x+1) 和 (2x+2) 等类型。(2x+2) 是由于核型中第 1, 2 或 6 对染色体 (m 或 sm)，其中有两条染色体是在着丝粒附近横裂而导致。随海拔递增，*N. forresti* 居群中 (2x+1) 细胞发生频率有逐渐递增趋势，而 (2x−1) 细胞发生频率则有递减趋势。说明随海拔增高，*N. forrestii* 核型中多 1 条染色体比少 1 条染色体更易幸存。*N. forrestii* 核型中第 5, 6, 8, 9, 11 和 12 对染色体形成 (2x−1) 和 (2x+1) 细胞的频率是最高。一般地，(2x−1) 细胞中有两条非同源染色体臂的末端发生断裂后融合成一条双着丝粒染色体[4]，或是缺失 1 条同源染色体，往往其它染色体发生易位加长。(2x+1) 细胞由核型中第 1 或 2 对染色体 (m 或 sm) 中 1 条着丝粒横断产生，或是有丝分裂异常而增加 1 条染色体，通常其它染色体会缺失或易位减少片段。这可能是 (2x−1) 细胞通过形成双着丝粒染色体或易位加长来增加缺失染色体的片段；而 (2x+1) 细胞则通过缺失或不等易位来减少多余染色体的片段，以保持遗传平衡。所以，*N. forrestii* 非倍性变异的幸存细胞其染色体是通过结构变异增加或减少一些片段而使核型失衡得以调节。可见，*N. forrestii* 染色体数目变异又伴随着结构变异。变异过程中，不能排除会形成更适合现有环境的新核型细胞，并通过无性繁殖将其固定下来。

非倍性变异也是有丝分裂异常造成，尤其是染色体落后。在形成细胞板时落后的染色体被误隔于另一子细胞，多得 1 条染色体的子细胞便形成 (2x+1)，而少得 1 条染色体的子细胞则形成 (2x−1)。从发生机率上讲，(2x+1) 和 (2x−1) 细胞的出现频率应是相等的。但统计发现，*N. forrestii* 居群中 (2x−1) 细胞的分布频率普遍高于 (2x+1) 细胞。特别是毕桑谷居群 P8 (3500 m) 中 (2x−1) 细胞发生频率高达 14.9%。原因是居群中结构变异导致双着丝粒染色体发生频率较高，因而 (2x−1) 细胞的暂时表现频率也较高。推测 *N. forrestii* 体细胞中某些臂内倒位杂合细胞或易位杂合细胞在有丝分裂过程中同源染色体配对交换，导致产生双着丝粒染色体和无着丝粒断片。无着丝粒断片在末期形成微核并逐渐丢失。

5. *N. forrestii* 各局部居群 B 染色体分布式样各不相同。高海拔居群 B 染色体出现的几率可能较大，但这还与居群的遗传背景密切相关。

6. *N. forrestii* 居群中体细胞染色体数量变异 4 种类型的发生频率分别是 F(2x−1) > F(2x+1) > F(3x) > F(x)。

7. *N. forrestii* 体细胞染色体数目变异常伴随着结构变异；同样，体细胞染色体结构变

异又常伴随着数目变异[4]。

8. *N. forretsii* 不同局部居群在染色体水平上的分化各不相同。这既有遗传背景的差异，还有染色体畸变的随机性。总体上，高海拔生境的居群其有丝分裂异常，减数分裂异常，(2x+1) 和 3x 细胞以及 B 染色体发生机率比低海拔的高。但局部居群染色体的变异方式及其频率还与遗传背景和变异的随机性有关。例如，毕桑谷居群 P8 (3500 m) 中体细胞染色体数量变异频率高达 18.4%，二倍体细胞中染色体结构变异频率高达 50%左右，微核发生率高达 12.9%，B 染色体出现频率高达 13.8%。碧塔海居群 P7 (3500 m) 中体细胞染色体数量变异频率较低 7.6%，二倍体细胞中染色体结构变异频率较高 30.3%，微核发生率 3.8%，B 染色体出现频率高达 17.8%。一村后山居群 P2 (3500 m) 中体细胞染色体数量变异频率较高为 11.2%，二倍体细胞中染色体结构变异频率相对较低为 22.1%，微核发生率 3.5%，B 染色体出现频率 0.0%。可见即使同一海拔高程不同的局部居群，其染色体分化的侧重方式也各不相同。变异的随机性和遗传背景的差异，影响着局部居群的遗传体制及其分化方式。有趣的是，体细胞染色体数量变异频率高的局部居群，其体细胞染色体结构变异的频率也高，微核和 B 染色体发生的频率也高。

参 考 文 献

〔 〕Balfour I B. The genus Nomocharis. *Trans Bot Soc Edinb*, 1918, **27**: 273—300.

〔2〕梁松筠. 豹子花属的研究. 植物研究，1984, **4**(2): 163—178.

〔3〕吴征镒，李恒，杨崇仁. 百合族的细胞地理学及各属间的系统关系. 云南植物研究，1994, 增刊 VI: 101—112.

〔4〕虞 泓，黄瑞复. 滇蜀豹子花核型及其变异研究. 植物分类学报，1994, *32*(4):301—307.

〔5〕汪发缵，唐进. 中国植物志14卷. 北京：科学出版社，1980, 159—164.